

**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia Automotiva**

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE
INSPEÇÃO DE TORQUES DE UMA MONTADORA DE
VEÍCULOS**

**Autora: Larissa Soares dos Santos
Orientador: Evandro Leonardo Silva Teixeira**

**Brasília, DF
2013**



LARISSA SOARES DOS SANTOS

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE INSPEÇÃO DE TORQUES DE
UMA MONTADORA DE VEÍCULOS**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Orientador: Evandro Leonardo Silva
Teixeira, DSc.

**Brasília, DF
2013**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Soares dos Santos, Larissa.

Modelagem e Simulação do Sistema de Inspeção de Torques de uma Montadora de Veículos / Larissa Soares dos Santos. Brasília: UnB, 2013. 56 p.: il.; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2013. Orientação: Evandro
Leonardo Silva Teixeira.

1. Modelagem. 2. Simulação. 3. Tomada de decisão. I. Leonardo Silva Teixeira, Evandro. II. Modelagem e Simulação do Sistema de Inspeção de Torques de uma Montadora de Veículos.

CDU Classificação



MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE INSPEÇÃO DE TORQUES DE UMA MONTADORA DE VEÍCULOS

Larissa Soares dos Santos

Monografia submetida como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 16/12/2013 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Evandro Leonardo Silva Teixeira, UnB/ FGA
Orientador

Prof. Henrique Gomes de Moura, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. Mário de Oliveira Andrade, UnB/ FGA
Membro Convidado

Eng. Anderson Ferreira dos Santos
Supervisor do Estágio

Brasília, DF
2013

Esse trabalho é dedicado a Jesus, minha força e meu sustento, aos meus pais pelo carinho e cuidado e ao meu noivo Leandro por seu fiel companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, meu agradecimento a Jesus que doou sua vida por mim e é fonte de toda a minha inspiração, alegria, saúde e força em todos os instantes.

Ao meu orientador Prof. Dr. Evandro Teixeira por sua disponibilidade, organização, paciência e pelas tantas importantes diretrizes dadas.

Ao meu supervisor de estágio Eng.^o Anderson Santos e o gerente Saulo Costa pelo total apoio na realização deste trabalho.

Aos meus pais pelo incentivo, amor, carinho e apoio durante toda a minha trajetória de vida e também durante o curso.

Ao meu noivo Leandro pela dedicação, compreensão e companheirismo em todos os momentos.

Aos demais professores do curso por suas contribuições, cada qual em sua competência, colaboraram para o meu aprendizado.

Aos colegas de trabalho, por terem me acolhido de maneira calorosa e proporcionado um excelente ambiente profissional.

“Os dias prósperos não vêm por acaso, eles nascem de muita fadiga e persistência” – *Henry Ford.*

RESUMO

Este trabalho consiste na modelagem e simulação do sistema de inspeção de torques de uma montadora de veículos. Um modelo de simulação foi desenvolvido a partir de dados reais do sistema. Após a criação do modelo, foram realizados estudos de caso em que parâmetros do sistema relacionados aos níveis de estoque e calibração das ferramentas foram modificados e seus efeitos sobre o sistema analisados. Estes parâmetros foram ajustados com o intuito de garantir disponibilidade das estações de inspeção em todo o período de simulação. Além disso, é proposto um melhor planejamento da calibração das ferramentas, de modo a favorecer a durabilidade das mesmas bem como a confiabilidade das medições. Cada cenário proposto é analisado a partir de seu desempenho. A modelagem e simulação, auxiliaram desta forma, a identificação de oportunidades de melhoria do sistema através da geração de cenários alternativos com desempenho superior. Ao final de cada estudo foram descritas sugestões de arranjo para o sistema.

Palavras-chave: modelagem, simulação, tomada de decisão.

ABSTRACT

This work consists in modeling and simulation of the torques inspection at an automotive manufacturing plant. A simulation model was developed from the real system data. After the creation of the model, some case studies were performed in which parameters related to inventory levels and calibration of the tools were modified and the effects on the system were analyzed. These parameters were adjusted in order to ensure availability of the inspection stations during the simulation period. Furthermore, it is proposed a better calibration plan for the inspection tools, in order to promote their durability and the reliability of the measurements. Each performance of the proposed scenario was analyzed. Modeling and simulation assist the identification of opportunities to improve the real system by generating alternative scenarios with superior performance. At the end of each case study, the suggested arrangement for the system are described.

Keywords: modeling, simulation, decision making.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	6
RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
SUMÁRIO.....	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	12
1.2 ESTRUTURA DO TEXTO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 A IMPORTÂNCIA DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA NO BRASIL	14
2.2 CONCEITOS DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO	18
2.2.1. Definição	18
2.2.2. Procedimentos para desenvolver um modelo de simulação	19
2.2.3. Simulação de Sistemas de Eventos Discretos	24
2.2.4. Terminologia e estrutura de Simulação a Eventos Discretos	24
2.2.5. Tratamento dos dados e aleatoriedade do modelo.....	26
2.3 BENEFÍCIOS ALCANÇADOS A PARTIR DA MODELAGEM E SIMULAÇÃO	27
2.4 APLICAÇÕES DA SIMULAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA.....	28
3 METODOLOGIA.....	32
3.1 ETAPAS DO ESTUDO	32
3.1.1 Etapa 1 – Revisão Bibliográfica	32
3.1.2 Etapa 2 – Definição do Problema	33
3.1.4 Etapa 3 – Criação do Modelo	33
3.1.5 Etapa 4 – Validação do Modelo	33
3.1.6 Etapa 5 – Estudos de Caso	33
4 MODELO DE SIMULAÇÃO.....	35
4.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	35
4.2 CONCEPÇÃO DO MODELO.....	36
4.3 DADOS DE ENTRADA.....	41
5 ESTUDOS DE CASO	43
5.1 CASO 1: ESTOQUE DE TORQUÍMETROS	43
5.1.1 Simulação.....	44
5.1.2 Análise dos resultados.....	44
5.2 CASO 2: LOTE DE FERRAMENTAS PARA CALIBRAÇÃO	46
5.2.1 Simulação.....	47
5.2.2 Análise dos resultados.....	48
5.3 CASO 3: PROCESSO DE CALIBRAÇÃO	49
5.3.1 Simulação.....	50
5.3.2 Análise dos resultados.....	51
6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	53
Referências Bibliográficas	55

1 INTRODUÇÃO

O cenário econômico mundial tem se modificado devido aos avanços tecnológicos, a globalização, as megafusões empresariais (que exercem um controle econômico em âmbito global) e a uma maior conscientização ecológica. Estas mudanças implicam em um aumento da competitividade por parte das empresas e organizações obrigando-as a gerar soluções inovadoras para se manterem competitivas no mercado (Carvalho, 2010).

A maioria das decisões em empresas tem alto grau de complexidade devido às suas articulações com diversos integrantes da cadeia de suprimentos. Decisões de produção, compra, políticas de estocagem e reposição, movimentação de materiais e distribuição física devem ser tomadas de forma sistêmica e integrada. Neste cenário, a modelagem e simulação tem sido utilizada para aferir os potenciais ganhos entre cada alternativa e os efeitos dessas relações (situações “*What if?*” ou “E se?”) (Carvalho, 2010).

Banks (2004) também destaca um crescimento do uso da simulação, que tem sido incorporada diariamente por diversas companhias. Este método tem se tornado indispensável na resolução de problemas reais das empresas uma vez que possibilita a geração de um modelo abstrato de um determinado processo ou sistema real, com o objetivo de testar suas funcionalidades. Desta forma promove uma implementação muito mais segura, pois é possível antecipar acontecimentos e explorar os comportamentos e características desse sistema e de suas variáveis.

Ao utilizar a simulação, a relação custo/tempo apresenta melhor retorno financeiro a longo prazo, uma vez que falhas no sistema podem ser identificadas e corrigidas antecipadamente. O custo típico de um estudo de simulação é substancialmente menor que 1% da quantia total gasta para a sua implementação e além disso, é necessário destacar o fato de que o custo de uma alteração no sistema pós-instalado é enorme (Banks, 2004). Ou seja, há ganhos em termos de desenvolvimento (custo) e segurança do projeto (prevenção de falhas e gargalos).

Para a pesquisa, a simulação também é um recurso bastante interessante, pois envolve o desenvolvimento de conhecimento de diversos tópicos como um entendimento detalhado do problema a ser modelado, coleta de dados e análise,

experimentos e interpretação de resultados (Tiveroli *et al.*2011). Banks (2004) e Frigg (2006) mostram o importante papel que a simulação computacional tem desempenhado em diversas áreas de pesquisa como física, química, biologia, economia, ciências sociais e engenharia. Os pesquisadores destas áreas têm buscado o uso da simulação antes de implementar em situações reais a possível solução para seus problemas.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo do trabalho é utilizar técnicas de modelagem e simulação para obter um melhor gerenciamento das ferramentas de inspeção de torques dos veículos de uma montadora, favorecendo os parâmetros de disponibilidade e durabilidade das mesmas. Deseja-se comparar o desempenho de diferentes cenários através do desenvolvimento de um modelo a partir de dados reais e analisar os efeitos de alterações nos parâmetros de estoque e calibração, a fim de propor melhorias.

1.2 ESTRUTURA DO TEXTO

O texto deste trabalho foi organizado em seis capítulos. Nos itens a seguir é apresentada uma breve descrição de cada capítulo, no intuito de fornecer ao leitor de forma sucinta o conteúdo de cada um deles.

Capítulo 2: Neste capítulo é demonstrada a importância da indústria automobilística no Brasil e no mundo através de dados estatísticos. Discute-se também sobre a complexidade da cadeia de suprimentos e logística deste setor. Além disso, este capítulo traz conceitos a respeito da modelagem e simulação, bem como suas aplicações na indústria automobilística e em outras áreas.

Capítulo 3: Este capítulo traz uma descrição completa da metodologia adotada para realização deste trabalho, desde a revisão bibliográfica, passando pelas etapas de definição do problema, criação e validação do modelo até os estudos de casos desenvolvidos.

Capítulo 4: O capítulo 4 trata do processo de elaboração do modelo de simulação. Cada etapa do desenvolvimento do modelo é detalhada. A lógica de construção, a dinâmica do modelo e a obtenção dos dados de entrada foram descritos.

Capítulo 5: Neste capítulo se encontram os três estudos de caso desenvolvidos. O primeiro trata da redução dos níveis de estoque das ferramentas, baseado nas recomendações de uso do fabricante. No segundo estudo é analisado o impacto do aumento da quantidade de ferramentas que são enviadas a calibração sobre os níveis de estoque. E no terceiro são analisados os efeitos sobre o estoque do tempo de duração do serviço de calibração.

Capítulo 6: Este capítulo traz as considerações finais sobre o estudo, bem como sugestões de trabalhos futuros e uma comparação das etapas do estudo que foram realizadas em relação ao que foi planejado no início do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é evidenciada a importância da indústria automobilística instalada no Brasil, bem como o seu crescimento nos últimos anos. Discute-se também a complexidade da cadeia de suprimentos do setor e a importância do gerenciamento no âmbito logístico das montadoras. E ainda, faz-se uma revisão bibliográfica acerca da simulação, definindo a simulação de Eventos Discretos, os conceitos relacionados, as vantagens e aplicações na indústria automotiva.

2.1 A IMPORTÂNCIA DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA NO BRASIL

De acordo com o DIEESE (2012) o Brasil é o quarto maior mercado em vendas de veículos leves do mundo, atrás somente da China, EUA e Japão e vem consolidando sua importância no mercado internacional. Segundo previsões realizadas por empresas especializadas, o mercado automobilístico brasileiro tende a dobrar até 2025, ampliando significativamente a participação de grandes marcas em seu mercado, em especial, as asiáticas (coreanas, japonesas e chinesas). A figura 1 mostra o *ranking* mundial, em vendas, de veículos automotores no ano de 2011 em milhões de unidades.

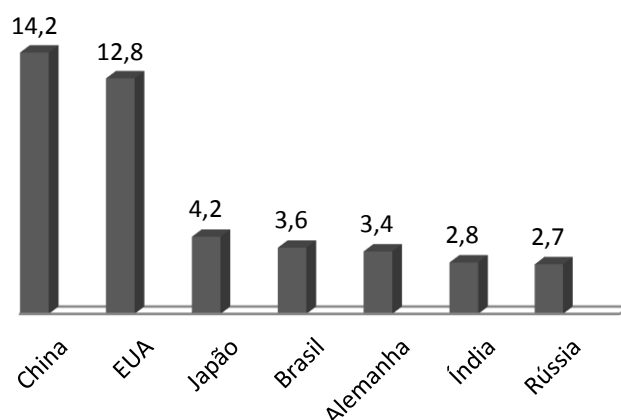


Figura 1. Ranking mundial de vendas de veículos (ano 2011) em milhões (DIEESE, 2012).

Já a tabela 1 mostra a evolução da quantidade de veículos produzidos no período compreendido entre os anos de 2002 a 2011. A quantidade produzida é separada quanto ao tipo de veículo: automóveis, comerciais leves (até 3,5 toneladas), caminhões e ônibus. A penúltima coluna mostra a soma da produção de todos os tipos durante o período correspondente de um ano. Na última coluna pode-se observar a variação ou aumento percentual na produção total de veículos de determinado ano comparado aos anos anteriores.

Tabela 1 – Evolução da produção de veículos no Brasil (DIEESE, 2012).

Ano	Automóveis	Comerciais Leves	Caminhões	Ônibus	Total	Variação Anual
2011	2.647.250	778.424	172.902	47.565	3.406.150	0,7%
2010	2.644.704	684.244	157.694	40.530	3.381.728	10,0%
2009	2.474.764	533.978	109.873	30.021	3.075.441	0,8%
2008	2.193.277	477.714	122.349	38.202	3.050.226	8,0%
2007	1.975.518	365.514	98.498	34.983	2.825.221	17,5%
2006	1.556.220	275.492	76.258	29.374	2.403.693	1,9%
2005	1.369.182	249.765	80.334	29.366	2.357.763	11,0%
2004	1.258.446	219.672	83.005	25.008	2.124.177	26,1%
2003	1.168.681	177.649	66.291	24.479	1.684.715	3,1%
2002	1.218.546	177.595	65.886	21.450	1.633.790	-

No período compreendido entre os anos de 2002 a 2011, a produção total de veículos montados (automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus) passou de 1,63 milhão para 3,41 milhões de unidades, representando um crescimento de 108,5%. O segmento de comerciais leves (veículos com peso bruto total até 3,5 toneladas) se destacou pelo crescimento 251,4% neste período, seguido pelo setor de caminhões, que para o mesmo período apresentou crescimento de 216,4% (DIEESE, 2012).

De acordo com o mesmo estudo feito pelo DIEESE, utilizando dados da ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores do Brasil, a quantidade total de automóveis (comerciais leves, caminhões e ônibus) exportados no Brasil cresceu de 424,4 mil no ano de 2002 para 541,6 mil unidades em 2011 como mostra a figura 2. Sendo observado, no período mencionado um crescimento de 27,6% em um período de apenas nove anos (ano 2002 a 2011).

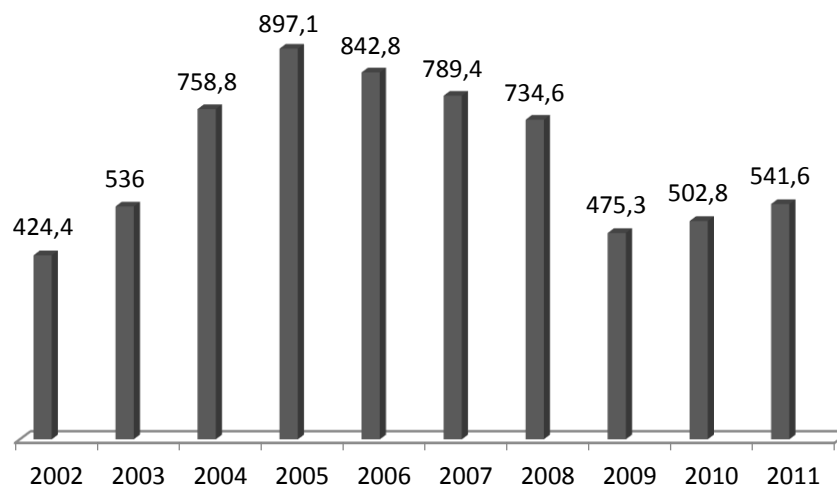


Figura 2. Volume de exportações de veículos no Brasil, em mil unidades (DIEESE, 2012).

Quanto aos níveis de emprego e renda do setor automotivo no Brasil os trabalhadores deste segmento representam 19,3% do total de metalúrgicos no Brasil, possuindo renda mensal média 62,5% superior em relação aos demais representantes desta classe. Os trabalhadores de montadoras somaram 126.492, em março do ano de 2012 em relação a 87.311 trabalhadores no ano de 1998. As vagas de emprego deste setor crescem anualmente apresentando um crescimento acumulado de 52,8% desde o ano de 2000 (DIEESE, 2012).

Ainda segundo a análise do DIEESE, utilizando dados do Ministério do Trabalho, o crescimento da indústria automotiva no Brasil influenciou de maneira significativa o setor de autopeças. Verificou-se que para cada vaga de emprego gerada em uma montadora entre os anos de 2000 e 2012, foram geradas 3,8 vagas em indústrias de autopeças como pode ser visto na figura 3.

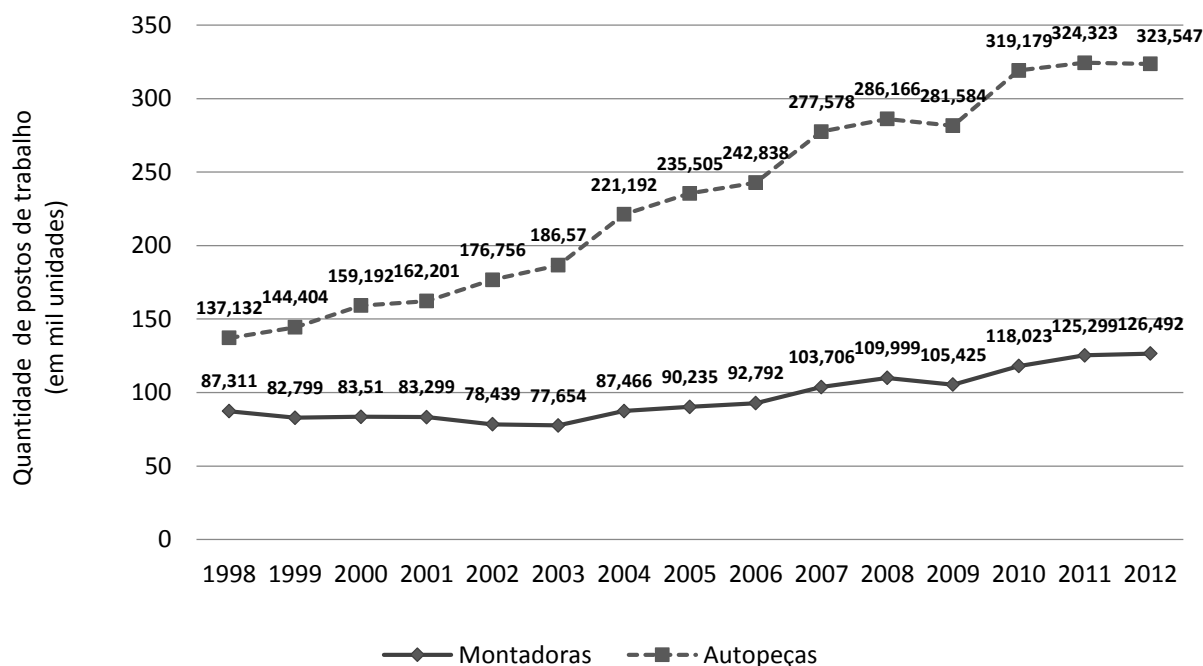


Figura 3. Crescimento do emprego nas montadoras e autopeças no Brasil (DIEESE, 2012).

Com base nas estatísticas mencionadas, observa-se a importância da indústria automobilística no Brasil. No cenário mundial, esse setor também é responsável por movimentar de forma importante a economia global. Outra característica do setor é possuir grandes e complexas cadeias de suprimentos e logística. Os elos da cadeia de suprimentos da indústria automobilística vão desde fornecedores de insumos básicos e fornecedores de autopeças à empresas de consultoria e de manutenção e calibração de equipamentos, entre outros. Devido a essa grande quantidade de parceiros, torna-se complexa sua administração e controle.

Scavarda (2001) destaca que em virtude da globalização da produção, tem-se observado que as montadoras e as indústrias de autopeças tem se esforçado no intuito de otimizar suas redes de suprimentos e sistemas logísticos, de forma a ganhar maior competitividade. Segundo Miranda e Corrêa (1996), as montadoras de veículos têm analisado mais cuidadosamente a complexidade da cadeia de suprimentos na qual estão inseridas, já que há fluxo de materiais, demanda e informações.

O fluxo de bens e serviços da cadeia de suprimentos pode atravessar fronteiras, entre os departamentos da empresa, entre empresas e até entre regiões e países (Jones, 1990). A logística de planejamento e controle de materiais (peças, máquinas, equipamentos, insumos etc) e informações é bastante complexa (Semini,

et al. 2006). Devido à complexidade destas relações, é necessário apoiar as tomadas de decisão em ferramentas confiáveis capazes de prever os comportamentos e efeitos de alterações nestes sistemas.

Um esquemático simplificado da configuração da cadeia de suprimentos de uma montadora de veículos é mostrado na figura 4, contendo seus principais integrantes. Há inúmeros outros integrantes na cadeia de suprimentos das montadoras que foram omitidos, apenas os membros de relação mais direta foram mencionados.

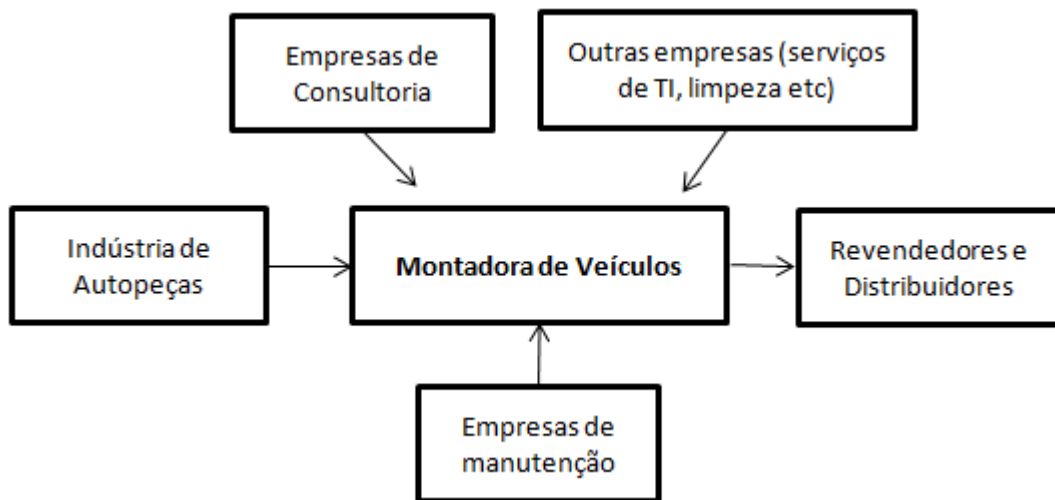


Figura 4. Estrutura simplificada da cadeia de suprimentos de uma montadora de veículos (Scavarda, 2001).

2.2 CONCEITOS DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO

2.2.1. Definição

Para Kelton *et al.* (1998), simulação é uma gama variada de métodos e aplicações que reproduzem o comportamento de sistemas reais, usualmente utilizando-se de ferramentas computacionais. Pode ser definida também como “o processo de elaboração do modelo de um sistema real (ou hipotético) e a condução de experimentos com a finalidade de entender o comportamento deste sistema ou avaliar sua operação” (Shannon, 1975). Em resumo, a simulação é a reprodução da operação de um processo ou sistema ao longo do tempo.

A simulação envolve a geração e análise de um modelo representativo com o objetivo de inferir acerca do sistema real. Um modelo de simulação é formado por considerações lógicas, matemáticas e simbólicas que retratam o relacionamento entre os objetos de interesse do sistema (parâmetros de operação). Devido à grande demanda de cálculos para desenvolver a simulação de um sistema, ferramentas computacionais tornam-se excelentes aliadas neste processo (Banks *et al.* 2004).

Um modelo de simulação, depois de desenvolvido e validado, pode ser usado para avaliar diversos comportamentos relativos ao sistema. Podem ser inseridas mudanças no modelo, por exemplo, para prever o impacto destas em seu desempenho sem interferir nas operações do sistema real (situações denominadas *what if?* cenários). Por este motivo a simulação tem sido bastante utilizada também no estudo de sistemas ainda na fase de concepção, pois se trata de uma ferramenta capaz de prever efeitos, avaliar e validar a performance de um sistema, sem ter de efetivamente implementá-lo (Banks *et al.* 2004).

2.2.2. Procedimentos para desenvolver um modelo de simulação

Banks *et al.* (2004) determina doze procedimentos organizados em etapas básicas que devem ser considerados na realização do processo de simulação de um sistema, os quais estão detalhados nesta seção.

- **Passo 1 – Formulação do problema**

O estudo deve começar pela definição do problema, devendo-se assegurar que o mesmo foi efetivamente entendido. À medida que o estudo evolui, há ocasiões em que pode ser necessária a reformulação do problema.

- **Passo 2 – Definição dos objetivos e planejamento geral do projeto**

Os objetivos apontam as questões a serem respondidas através da simulação. O modelo deve atender aos objetivos estabelecidos. No planejamento do projeto devem estar inclusos especificações de sistemas alternativos (cenários) a serem considerados e um método para avaliar a eficácia destas alternativas.

- Passo 3 – Concepção do modelo

O procedimento de modelagem envolve certa habilidade de abstração das características essenciais do problema. A fim de selecionar e modificar as suposições que caracterizam o sistema e assim ser capaz de enriquecer e elaborar o modelo até obter uma boa aproximação do sistema. Diante disso, é apropriado iniciar com um modelo simplificado, e a partir deste, evoluir para modelos mais complexos. Entretanto, a complexidade do modelo não deve ser maior que a requerida para alcançar os objetivos do estudo. Não é necessário ter uma correspondência biunívoca entre o modelo e o sistema. Sendo necessário apenas representar essência do sistema real.

- Passo 4 – Coleta de dados

Observa-se um efeito recíproco na relação entre o processo de concepção do modelo e a coleta dos dados de entrada necessários. A medida que a complexidade do modelo muda, os dados necessários também podem mudar. A fase de coleta de dados em geral envolve bastante tempo. Os objetivos do estudo costumam definir, os tipos de dados a serem coletados.

- Passo 5 – Tradução do modelo

Em geral, sistemas reais resultam em modelos que requerem grandes quantidades de armazenamento e processamento de informações, desta forma, os modelos devem ser traduzidos para uma linguagem computacional. O projetista do modelo deve optar pelo uso de pacotes computacionais específicos ou uma linguagem de simulação específica.

- Passo 6 – Verificação

A verificação do modelo envolve examinar se modelo operacional verdadeiramente reflete o comportamento do modelo conceitual. Caso sejam identificadas falhas no modelo operacional elaborado (código do modelo de simulação), a tradução do modelo deve ser revista. Banks *et al.* (2004) recomenda seguir os princípios da programação estruturada: modularidade da programação

(dividir o sistema em subsistemas), documentação com comentários, ter o código checado por outros especialistas, checar os valores dos dados de entrada, checar a concordância dos dados de saída e utilização de animação se possível.

- Passo 7 – Validação

O processo de validação pode ser definido resumidamente como a confirmação de que o modelo representa de maneira adequada o sistema real. Na validação há um processo iterativo de comparação entre os resultados obtidos com a simulação do modelo e o comportamento do sistema, utilizando as discrepâncias observadas entre os dois para melhorar o modelo construído. Existem técnicas subjetivas e objetivas de validação citadas por Banks *et al.* (2004). Dentre as técnicas subjetivas pode-se citar: a validação “lógica”, análise de sensibilidade, testes de condições extremas, validação das considerações do modelo conceitual, constantes checagens, testes *Turing*. As técnicas objetivas são: validação entrada-saída e validação utilizando históricos de dados de entrada.

- Passo 8 – Projeto do Experimento

Nesta etapa as alternativas e cenários, que deverão ser simulados, devem ser detalhados. Para cada cenário simulado, decisões precisam ser tomadas observando a magnitude dos valores de inicialização, o tempo de simulação e também o número de repetições que devem ser feitas.

- Passo 9 – Execuções e Análises

As execuções do modelo de simulação e suas subsequentes análises são realizadas a fim de estimar através dos resultados obtidos, medidas de desempenho do sistema que está sendo representado. Este pode ser considerado o cerne do processo de simulação de sistemas. De acordo com os objetivos do estudo previamente fixados, observa-se o comportamento dos parâmetros de interesse a fim de sugerir novos arranjos ou cenário que forneçam um melhor desempenho.

- Passo 10 – Outras Execuções

Baseado na análise das execuções realizadas determina-se se são necessários experimentos adicionais e se novas especificações devem ser consideradas.

- Passo 11 – Documentação dos Processos e Resultados

Banks *et al.* (2004) define que existem dois tipos de documentação: uma relativa ao programa e outra ao experimento. A documentação do programa (ou modelo operacional) é imprescindível quando o programa é usado novamente e, é fundamental para a confiança dos usuários do sistema que tomam decisões baseados nos dados gerados. Recomenda-se apresentar os resultados das análises em um relatório final, permitindo que usuários do modelo revejam a formulação final, os critérios pelos quais alternativas foram comparadas, os resultados de experimentos, e a solução mais favorável recomendada.

- Passo 12 – Implementação

Esta fase corresponde ao momento que após todas as análises realizadas implementa-se o cenário considerado mais favorável de acordo com os resultados obtidos através das execuções do modelo. Na figura 5 é mostrado um fluxograma que apresenta os doze passos de Banks *et al.* (2004) de forma esquemática.

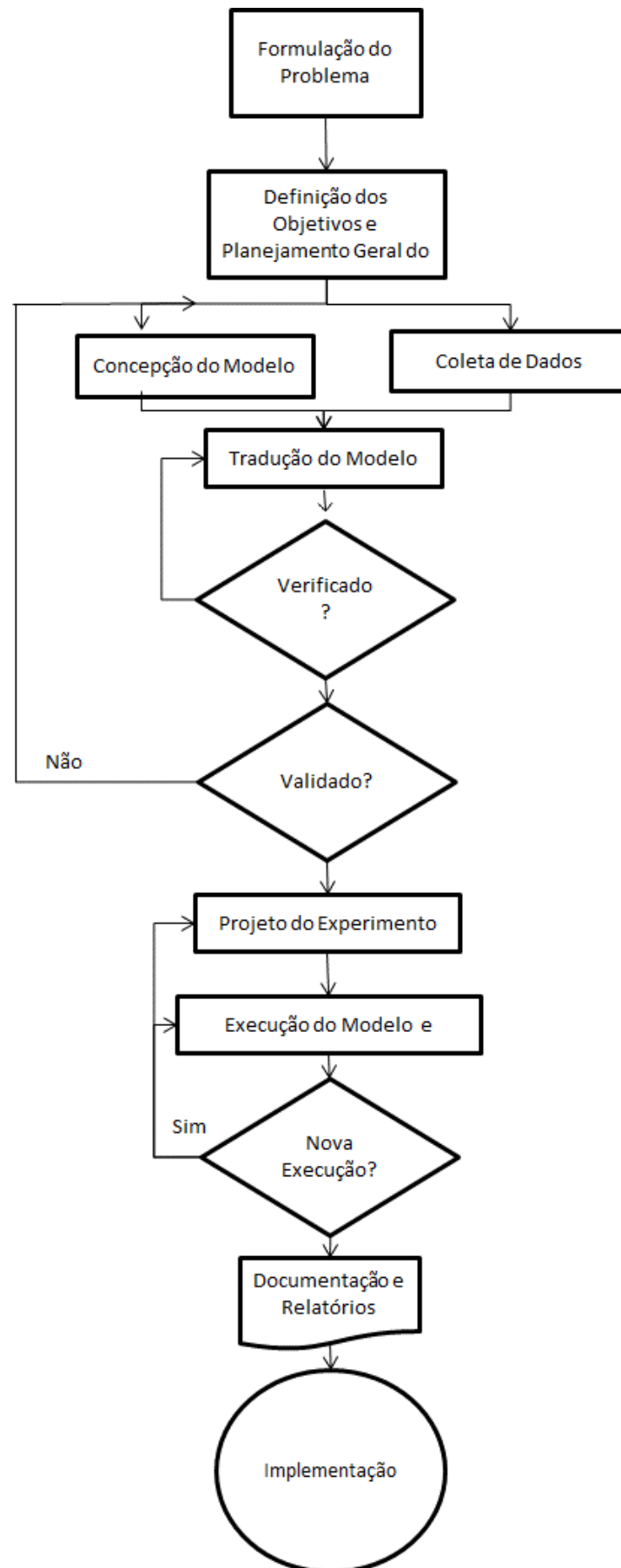


Figura 5. Fluxograma dos procedimentos de uma simulação (Banks *et. al.*, 2004).

2.2.3. Simulação de sistemas de Eventos Discretos

A simulação de sistemas de Eventos Discretos corresponde a estudos em que se utilizam modelos nos quais as variáveis de estado mudam apenas em instantes discretos de tempo, ou seja, quando é observada a ocorrência de eventos que são considerados instantâneos (Banks *et al.*, 2004). Esta denominação, Eventos Discretos, é utilizada pelos autores com o objetivo de enfatizar a discretização dos eventos ao longo do tempo. Neste tipo de simulação, o sistema é modelado em termos do seu estado temporal, das entidades que percorrem o sistema, das entidades que representam recursos e das atividades e eventos que provocam alterações de estado (Banks *et al.*, 2004).

Simulações deste tipo descrevem, diretamente ou indiretamente, situações de fila, em que entidades chegam, aguardam em fila se necessário e então recebem atendimento antes de deixar o sistema. Na figura 6 é mostrada a simbologia utilizada na Teoria de Filas para designar servidor e fila no fluxo de um sistema, em que uma entidade ou cliente chega para ser atendido e após o processamento deixa o sistema.



Figura 6. Simbologia utilizada para designar servidor e fila (Chwif e Medina, 2006).

2.2.4. Terminologia e estrutura de simulação a Eventos Discretos

Embora existam vários conceitos e paradigmas em simulação de Eventos Discretos, uma estrutura básica é usada pela maioria dos pacotes computacionais. Independentemente da complexidade de um determinado pacote de simulação, é susceptível que este contenha os mesmos componentes. Estes componentes básicos deste tipo de simulação são descritos brevemente a seguir de acordo com Ingalls (2002). Os principais componentes estruturais de uma simulação de eventos discretos incluem entidades, atividades, eventos, filas e variáveis de estado do sistema.

- Entidades

As entidades causam alterações no estado da simulação. Entidades possuem atributos, que são suas características próprias. Os atributos de determinada entidade são exclusivos para a mesma, estes são essenciais para compreender a performance e funcionamento destas na simulação. Um exemplo de entidade pode ser uma peça em uma determinada fábrica que passa por diversas estações de trabalho. Um atributo seria o tempo em que se iniciou a fabricação desta peça na fábrica. Cada peça tem um instante único em que foi iniciado seu processo de fabricação.

- Atividades, Eventos e Filas

Atividades são processos que agregam valor lógico a simulação. Os eventos são condições que ocorrem em um instante de tempo provocando mudança no estado do sistema. Uma entidade interage com as atividades e o resultado dessas interações, dão origem aos eventos. Filas são locais na simulação onde entidades aguardam por um período de tempo. As entidades podem estar à espera de recursos disponíveis ou de uma determinada condição do sistema ocorrer. As filas são mais comumente usadas para a espera por um recurso ou no caso de armazenamento (estoque) em que a entidade só será retirada da fila quando condições adequadas surgirem.

- Variáveis de Estado do Sistema

Variáveis de estado são variáveis globais que descrevem o estado do sistema. Uma variável global é uma variável disponível para o modelo como um todo em todos os instantes de tempo, podendo controlar praticamente qualquer aspecto de interesse de toda a simulação. O termo global refere-se ao fato de que a variável armazena algum dado representativo de um estado genérico a todo o sistema ou ao ambiente de simulação. Um exemplo de variável global comumente observado nos modelos de simulação é o tempo total de simulação. Este tempo é armazenado em uma variável que é atualizada regularmente.

A tabela 2 exemplifica os conceitos pertencentes à terminologia de sistemas que também são utilizados na simulação de Eventos Discretos conforme Banks *et al.* (2004). Na primeira coluna da tabela são dados exemplos de sistemas, na segunda

coluna são exemplificadas as entidades correspondentes a cada sistema, nas demais colunas são exemplificados os conceitos de atributos, atividades, eventos e as variáveis de estado dos respectivos sistemas.

Tabela 2 – Componentes de sistemas (Banks *et al.*2004).

Sistema	Entidades	Atributos	Atividades	Eventos	Variáveis de Estado
Bancos	Clientes	Conta Corrente	Depósitos	Chegada, saída	Nº de caixas ocupados, clientes em espera
Transporte	Veículos	Origem, destino	Deslocamento	Chegada à estação, chegada ao destino	Nº de veículos a espera em cada estação, veículos em trânsito
Manufatura	Máquinas	Velocidade, capacidade, taxa de falhas	Stampagem, Soldagem	Falha, quebra	Estado da máquina (ocupada, livre, quebrada)
Comunicações	Mensagens	Comprimento, destino	Transmissão	Chegada ao destino	Nº de mensagens a serem transmitidas
Inventário	Almoxarifado	Capacidade	Retiradas	Pedido	Nível do estoque, demanda prevista

2.2.5. Tratamento dos dados e aleatoriedade do modelo

Em sua obra “*Handbook of Simulation*”, Banks *et al.*(1998) define que para cada elemento em um sistema sendo modelado é necessário representar as variáveis aleatórias relacionadas. No caso de uma variável aleatória ser independente das outras variáveis do modelo, as alternativas para a sua modelagem serão:

- Assumir um valor determinístico para a mesma;
- Ajustar uma distribuição probabilística para descrever seu comportamento;
- Utilizar uma distribuição empírica para a entrada.

Para que o valor de uma determinada variável do modelo seja considerado determinístico, é necessário obter este valor através da média de seus valores

anteriores em um de histórico de dados da variável. Se há uma aleatoriedade relacionada a esta variável, selecionar um valor determinístico para a mesma implica em invalidar os resultados de uma posterior análise. Nos casos em que se constata a natureza estocástica da variável, há ainda outras duas opções, as quais são: ajustar uma distribuição de probabilidade convencional para o comportamento da variável ou elaborar uma distribuição empírica com base nos dados reais.

Quando se considera que uma distribuição de probabilidade convencional não descreve de maneira satisfatória o comportamento da variável, em geral utiliza-se uma distribuição empírica de probabilidade. Para isso, é necessário coletar os dados de frequência de ocorrência da variável em intervalos de tempo conhecidos e assim elaborar um histograma que, por interpolação linear entre os pontos, descreverá a distribuição de probabilidades para esta variável. A tabela 3 ilustra a forma como os dados para os histogramas devem ser coletados.

Tabela 3 – Instrumento de coleta dos dados para elaboração de um histograma. (Banks *et al.*, 1998).

Intervalos	Frequência (n° de amostras no intervalo)
Primeiro intervalo	Frequência do primeiro intervalo
Segundo intervalo	Frequência do segundo intervalo
...	...
Último intervalo	Frequência do último intervalo

2.3 BENEFÍCIOS ALCANÇADOS A PARTIR DA MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Para Banks *et. al.* (2004), a simulação é vantajosa quando esta é capaz de reproduzir com baixo custo ou utilizando menos recursos do que seriam necessários, o sistema real. Os dados de saída da simulação devem corresponder diretamente às saídas que seriam obtidas do sistema real. Entre as vantagens relacionadas pode-se

citar aquelas listadas por Pegden, Shannon e Sadowski (1995) *apud* Banks *et. al.* (2004):

- Novas políticas, procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação, procedimentos organizacionais, etc podem ser estudados sem interferência nas operações do sistema real.
- Novos equipamentos, arranjos físicos, sistemas de transporte, etc podem ser testados antes de se investir recursos com as aquisições envolvidas.
- Hipóteses de como e por que certos fenômenos ocorrem podem ser verificadas.
- O tempo pode ser comprimido ou expandido, permitindo que o fenômeno em estudo possa ser acelerado ou retardado.
- Adquire-se conhecimento a respeito da interação das variáveis.
- Adquire-se conhecimento a respeito do impacto de algumas variáveis no desempenho do sistema.
- Gargalos onde as informações ou materiais têm seus fluxos comprometidos podem ser identificados.
- Compreensão exata do funcionamento do sistema, em vez de como os indivíduos pensam o sistema opera.
- Questões "E se?" ou "*What if?*" podem ser respondidas (particularmente útil na concepção de novos sistemas).

2.4 APLICAÇÕES DA SIMULAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

A literatura destaca o importante papel que a simulação tem desempenhado no contexto da indústria automobilística nos últimos anos. Ülgen e Gunal (1998) *apud* Banks (1998) mostram que grande maioria da indústria automobilística instalada nos Estados Unidos (das quais se podem citar as três maiores *General Motors Corporation*, *Ford Motor Company* e *Chrysler Corporation*) e também na Europa solicita estudos de simulação antes de qualquer projeto novo ou alteração nos sistemas produtivos, alterações na metodologia ou na estrutura organizacional que envolva alguns milhares de dólares de investimento. Isso comprova a qualidade dos resultados dos estudos desenvolvidos e a boa aceitação no setor.

Zalla (2006) aponta que a indústria automobilística, de diferentes formas, sempre liderou a aplicação da simulação de eventos discretos. Há aproximadamente

quarenta anos se observa o intenso uso da simulação na indústria automobilística norte-americana, principalmente em sistemas complexos, em que variáveis estocásticas tornam as soluções analíticas dispendiosas e complexas. A recorrente utilização da simulação no setor se justifica devido à sua capacidade de prever o desempenho dos sistemas, identificar gargalos, avaliar alternativas e identificar aspectos negativos (sobrecarga de recursos, estoques inapropriados ou dispostos erroneamente, tempos inadequados de processos).

Rohrer & Strong (1997) e Smith (2003) *apud* Zalla (2006) apresentam levantamentos gerais de diversas aplicações da simulação na indústria automobilística. Na tabela 4 são apresentados alguns destes estudos. Zalla (2006) demonstra o papel fundamental que os estudos desempenharam no auxílio à tomada de decisão dos sistemas que foram simulados. Em todos os casos, houve uma maior confiabilidade na aplicação das soluções otimizadas propostas pelas simulações. Dentre os principais resultados, destacam-se a redução de custos e prazos de implementação, melhoria dos processos existentes, redução dos tempos produtivos, além de uma melhor programação e planejamento da produção.

Nessas diferentes áreas de atuação, a utilização da simulação trouxe resultados expressivos, como a maior probabilidade de acerto no projeto de novas linhas e projetos de modificação de linhas de produção existentes, maior confiabilidade dos processos (reduzindo o tamanho dos estoques e *buffers*) e melhoria nos tempos de produção. Sem dúvida, todas estas melhorias contribuíram para o aumento da competitividade; pois em geral, reduziram custos operacionais, aumentaram a eficiência da produção e a qualidade dos produtos, e diminuíram prazos de entrega.

Tabela 4 – Aplicações da simulação na indústria automotiva (Zalla, 2006).

Estudos Realizados	Setor Específico	Autores
Fatores de produção	Fábricas de subcomponentes	Ulgen & Gunal (1998)
Gerenciamento da cadeia de distribuição	Montadora	Manivannan, Ulgen & Gunal (1998)
Armazéns e estoques	Montadora (<i>warehouses</i>)	Manivannan (1998)
Movimentação de materiais	Montadora (linhas de produção)	Rohrer (1998); Gunal & Sadakane & Willians (1998)
Tempos de produção, gargalos, programação, utilização dos recursos, movimentação de material, células de manufatura, automação	Fábrica de motores e transmissões (linha de produção e linha de montagem final)	Jarayaman & Gunal (1997); Choi & Houshnar (2002); Ulgen & Gunal (1998)
Processos de pintura	Montadora (<i>paint shop</i>)	Ulgen et al. (1994); Sadakane & Willians (1997)
Tempos e gargalos	Montadora (testes e revisão final)	Patel & Ma & Ashby (2002)

As áreas de aplicação da simulação são muito amplas e variadas. Na tabela 5 são mostradas outras áreas de aplicação além da indústria automobilística, que foram identificadas em publicações recentes citadas por Banks *et. al.* (2004) em que mais se tem utilizado a simulação recentemente. Estas publicações citadas por Banks provêm de anais de periódicos técnico – científicos de reconhecida importância, tal como o *Winter Simulation Conference* (WSC).

Tabela 5 – Áreas de aplicação da simulação (Banks *et al.*, 2004).

Grande Área	Áreas Específicas
Manufatura	Manipulação e movimentação de materiais; operações de montagem; planejamento da inter-operação entre sistemas de estoques; manufatura ágil (sistema distribuído, sistemas inteligentes, sistemas autônomos)
Sistemas de Saúde	Custo e faturamento de produtos farmacêuticos; otimização do atendimento em ambulatorios; gerenciamento de recursos hospitalares.
Logística, Transporte e Distribuição	Transferência de cargas; operações de <i>containers</i> em portos; postos de pedágio flexíveis de acordo com a demanda; operações militares; redes complexas de serviços de correios; políticas de operação de sistemas marítimos de transporte.
Recursos Naturais	Gerenciamento de sistemas de coleta de lixo; operação eficiente de plantas nucleares; atividades de restauração de ecossistemas.
Construção Civil	Processo de montagem de pontes suspensas; novos paradigmas do processo construtivo; interface para as ferramentas de projeto e construção.
Empresas Alimentícias e Entretenimento	Análise de fluxo de clientes; determinação do número adequado de funcionários e fornecedores; atividades em parques temáticos.
Reengenharia e Negócios	Integração de sistemas baseado no fluxo de tarefas; análise de soluções.
Processamento de Alimentos	Operações no processamento de pescados; avaliação da capacidade no processamento de cereais.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia adotada para a realização deste trabalho, bem como o detalhamento de cada etapa, com o auxílio de uma figura esquemática. O trabalho foi dividido em cinco grandes etapas, as quais são: revisão bibliográfica, definição do problema, criação do modelo, validação do modelo e estudos de caso.

3.1 ETAPAS DO ESTUDO

Para a elaboração deste estudo tornou-se necessário dividi-lo em etapas, mostradas de forma esquemática na figura 8 e detalhadas nesta seção. A definição destas etapas foi baseada nos procedimentos sugeridos por Banks *et al.* (2004).

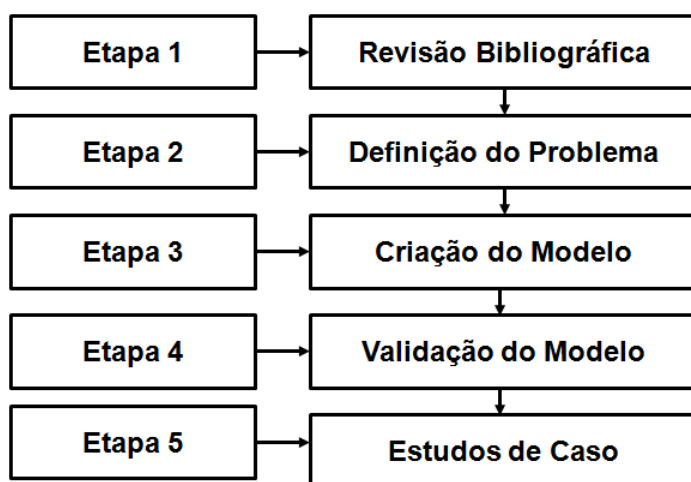


Figura 8. Etapas do estudo.

3.1.1 Etapa 1 – Revisão Bibliográfica

Esta etapa pode ser considerada a mais importante de todo o trabalho, pois foram revisados intensamente todos os conceitos fundamentais para iniciar a análise do problema em questão. A etapa 1 percorreu todo o estudo, uma vez que mesmo nas etapas mais avançadas recorreu-se a materiais de apoio para sustentá-la. Na etapa de revisão bibliográfica buscou-se os conceitos necessários para fundamentar o modelo de simulação, tais como, quais objetos de simulação deveriam ser utilizados para representar as características do modelo (objetos de fila, fonte, processamento entre outros).

Também foi necessário saber a respeito dos parâmetros aleatórios do sistema, ou qual o melhor método para descrever o comportamento das variáveis aleatórias do modelo. Entre os métodos estudados estão a seleção de valores determinísticos, ajuste do comportamento das variáveis por distribuições de probabilidade e ajuste com distribuição empírica de probabilidade. Além do estudo de tutoriais, para auxiliar o desenvolvimento do modelo de simulação na plataforma *Anylogic* e estudos de técnicas estatísticas para tratamento dos dados coletados na etapa 3.

3.1.2 Etapa 2 – Definição do Problema

Esta etapa consistiu basicamente no delineamento do problema a ser estudado, ou seja, quais processos da montadora seriam reproduzidos e quais questões relevantes deveriam respondidas através do modelo de simulação. Foram criados fluxogramas ou modelos conceituais do sistema de inspeção para apoiar o desenvolvimento do modelo de simulação.

3.1.4 Etapa 3 – Criação do Modelo

Esta etapa consistiu na concepção, tradução e verificação do modelo. O modelo do sistema de inspeção de torques foi desenvolvido a partir de dados reais fornecidos pela montadora, com a ordem específica das atividades de montagem realizadas em cada linha de produção. Nesta etapa foi definida e implementada a lógica para representar as atividades das linhas de montagem, os torquímetros, o estoque e o processo de calibração das ferramentas e como os mesmos interagem. As falhas lógicas eram verificadas a cada execução e em seguida corrigidas.

3.1.5 Etapa 4 – Validação do Modelo

Na etapa de validação do modelo não foi utilizada nenhuma técnica específica, como as técnicas subjetivas e objetivas de validação, mas procurou-se assegurar que o modelo computacional elaborado representa de maneira adequada o sistema real, verificando a lógica e a concordância do comportamento da estrutura criada com o modelo conceitual. O processo de validação resultou do processo sucessivo de calibração do modelo no intuito de melhorá-lo.

3.1.6 Etapa 5 – Estudos de Caso

A parte final do trabalho se caracterizou pelos estudos de caso, em que o principal objetivo foi analisar o impacto das mudanças provocadas pelas questões “*what if?*” propostas, como modificações no níveis de estoque de ferramentas,

modificação do tamanho do lote de ferramentas enviado à calibração, entre outras. É importante ressaltar que a implementação das melhorias propostas não fez parte do escopo deste trabalho, uma vez que os objetivos se restringem a identificar cenários mais favoráveis do sistema existente.

4 MODELO DE SIMULAÇÃO

Neste capítulo o modelo de simulação é descrito e cada etapa de sua concepção detalhada. Apresenta-se toda a lógica elaborada de representação dos processos que envolvem o sistema de inspeção com o uso de torquímetros na montadora.

4.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O torque é uma grandeza física derivada de uma determinada força F aplicada a um corpo, a uma distância d ortogonal ao eixo longitudinal do mesmo, de tal modo que produza uma rotação em torno deste eixo (INMETRO, 2005).

Juntas mecânicas rosqueadas oferecem a vantagem de fácil desmontagem para inspeção ou reparo de componentes. O aspecto mais importante da junta é a resistência às cargas de trabalho (tração, compressão, cisalhamento e vibração). Essas cargas podem provocar a soltura dos componentes da junta e devem ser absorvidas pela força de fixação induzida na mesma durante a montagem. A força de fixação deve ser maior que o somatório das cargas de trabalhos que agem na junta (Carlsons, 2006).

Em juntas mecânicas, a confiabilidade depende da capacidade do elemento de fixação (parafuso) de unir as peças. Uma fixação adequada evita o movimento relativo entre as peças das unidas. Quando o parafuso é apertado, a haste e a rosca sustentam uma tensão direta por estarem tracionados. Medir a tensão, ou a capacidade de fixação de parafusos é difícil, especialmente em condições de montagem em campo. Desta forma, a força de fixação deve ser controlada indiretamente (INMETRO, 2005).

Os torquímetros são instrumentos de aplicação e verificação de torque. São utilizados para aplicar torque em porcas e parafusos de juntas mecânicas a partir de uma especificação de projeto. Através do uso destas ferramentas, pode-se alcançar o exato torque desejado. A escolha correta da ferramenta para aperto ou verificação agrega segurança, rapidez, facilidade e qualidade para o trabalho. Cada tipo de torquímetro é desenvolvido para atender uma diferente aplicação (Gedore, 2005).

O controle de torque é extremamente importante para a segurança e confiabilidade de produtos e sistemas. Aplicações críticas de torque, encontradas na

indústria automobilística, aeronáutica, naval, entre outras, demandam boa exatidão e baixos coeficientes de segurança em relação às especificações de projeto e de montagem (INMETRO, 2005). Atualmente, tem crescido a utilização de torquímetros para o controle de aplicação de torque em elementos de fixação em diversos setores produtivos, especialmente em casos em que o aperto inadequado pode causar danos ao equipamento ou ao produto final (Gedore, 2005).

Na montadora onde se realizou o estudo, os torquímetros são utilizados em estações de inspeção, nas linhas de montagem, a fim de verificar se o torque aplicado nos componentes montados correspondem às especificações de projeto. São utilizados diversos modelos de torquímetro, com diferentes resoluções, uma vez que as especificações de torques são diferentes para cada parafuso. Quando um veículo passa pelas estações de inspeção, os torques dos parafusos são checados em uma ordem específica e os operadores avaliam a conformidade quanto às especificações.

De três linhas de montagem na montadora, a inspeção de torques ocorre nas duas finais, as linhas C e F. Nas estações das linhas C e F também são realizadas atividades de montagem, em cada estação pode ser realizada uma ou mais atividades simultaneamente. A duração destas atividades é pré-determinada e fixa, bem como a duração das inspeções. Em outro local da montadora também são inspecionados torques, este local é constituído de apenas uma estação chamada *Underbody 2*, esta inspeção ocorre quando o veículo já está completamente montado.

O problema consiste em, através da modelagem e simulação do sistema de inspeção, analisar os impactos promovidos por modificações no modelo, auxiliando o processo de tomada de decisão quanto a calibração dos torquímetros e seus níveis de estoque. Favorecendo a disponibilidades das linhas durante o período considerado bem como a durabilidade das ferramentas. Os “*what if?*” cenários vislumbrados para a análise foram determinados com base em sugestões da montadora, uma vez que são considerados parâmetros estratégicos para um bom funcionamento do sistema.

4.2 CONCEPÇÃO DO MODELO

O modelo de simulação foi desenvolvido observando os processos de inspeção e montagem das linhas C e F, as atividades de inspeção do *Underbody 2*, o comportamento do processo de manutenção e o estoque das ferramentas. O modelo

foi construído de forma que o veículo é uma entidade nestes processos que percorre sequencialmente cada estação da linha C, depois passa pela linha F e finalmente o *Underbody 2*. Os torquímetros são representados no modelo como variáveis, realizando medições de torques nos veículos que passam pela linha.

As linhas de montagem do modelo tiveram todas as suas estações de montagem e inspeção representadas através de objetos lógicos. Estes objetos representam fonte (*source*), fila (*queue*), processamento (*delay*), entre outros componentes de sistemas. Outros objetos, como *enter* e *exit* servem apenas para organizar o fluxo das entidades em processamento. Os objetos *hold* e *combine* tem a função de liberar o processamento da entidade, ou seja, quando uma estação tem duas ou mais operações ocorrendo simultaneamente, o objeto *hold* faz com que a atividade finalizada primeiro aguarde o término da outra atividade para que o veículo siga adiante. O objeto *combine* une as duas atividades e depois libera a entidade.

Na linha C, a fonte (*source*) representa os veículos advindos da primeira linha de montagem. Nas filas, as entidades aguardam para serem processadas. Para representar as atividades da linha C, foram utilizados objetos de processamento com capacidade unitária (processa uma entidade por vez). Na estação de inspeção, os torquímetros representados por variáveis, realizam as medições de torque de acordo com os parafusos que devem ser checados e os ciclos são registrados. Na figura 11 é possível ver o modelo de simulação da linha C.

A mesma lógica foi adotada para a representação da linha F, que possui duas estações de inspeção e um número maior de operações de montagem. As diferenças entre as linhas são, as atividades realizadas, os tempos destas atividades, a quantidade de estações de inspeção e os modelos de torquímetros utilizados. Na estação de inspeção *Underbody 2* as atividades de inspeção foram divididas em duas: inspeção traseira e dianteira do veículo. Os modelos de simulação da estação *Underbody 2* e da linha F podem ser vistos nas figuras 10 e 12.

O processo de manutenção é descrito no modelo de forma que, cada vez que o torquímetro atinge uma quantidade crítica de ciclos em que o mesmo é passível de ser aferido, este é imediatamente retirado da linha, aguarda a chegada de outras ferramentas na mesma situação e então é enviado a calibração. A quantidade de torquímetros enviados a calibração segue uma distribuição de probabilidade, bem como o tempo de duração deste serviço. Foram utilizados objetos de fonte para injetar

os torquímetros no processo de manutenção, quando o número de ciclos máximo é atingido. Uma vez reparado, o torquímetro retorna ao estoque.

O estoque é representado na forma de um painel onde se observa a quantidade, em tempo real, de torquímetros disponíveis. O operador do modelo pode inserir os limites máximos de medição para cada torquímetro e da mesma forma, pode inserir a quantidade de cada torquímetro disponível em estoque. O estoque é incrementado pelos torquímetros reparados que retornam da manutenção e decrementado toda vez um torquímetro é enviado para as linhas. A representação da manutenção e do estoque no modelo é pode ser vista na figura 9.

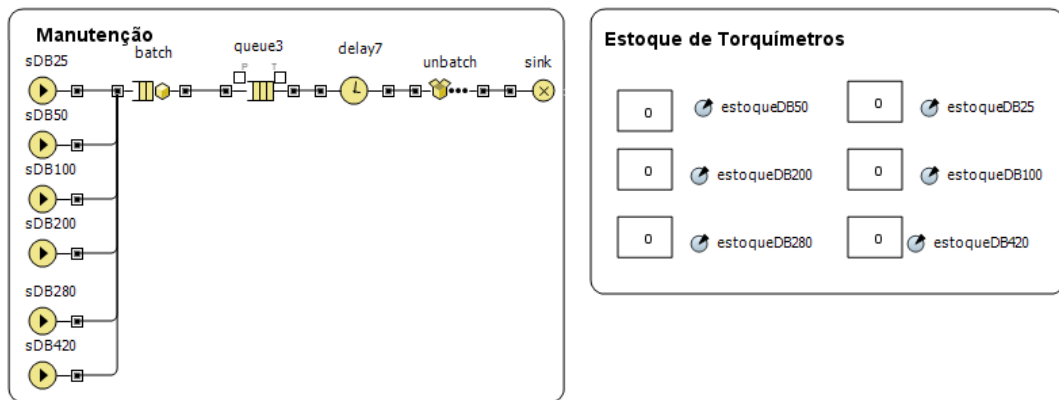


Figura 9. Representação dos processos de manutenção e estoque no modelo.

Em todas as linhas, quando um torquímetro atinge o limite de ciclos e não há estoque disponível para realizar a reposição, o processo de inspeção é interrompido. Esta é uma representação do que ocorre no sistema real, pois se um determinado modelo de torquímetro está indisponível, o veículo não pode seguir para a próxima estação de trabalho sem ser inspecionado. O objeto *hold* realiza o travamento da linha caso esta situação ocorra. No sistema real, não há capacidade de *buffer* nas linhas quando este problema ocorre, por isso a disponibilidade das ferramentas é essencial para um bom desempenho da produção.

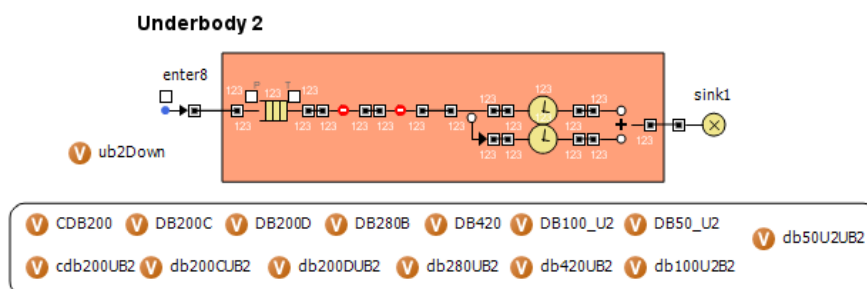


Figura 10. Representação da estação de inspeção *Underbody 2*.

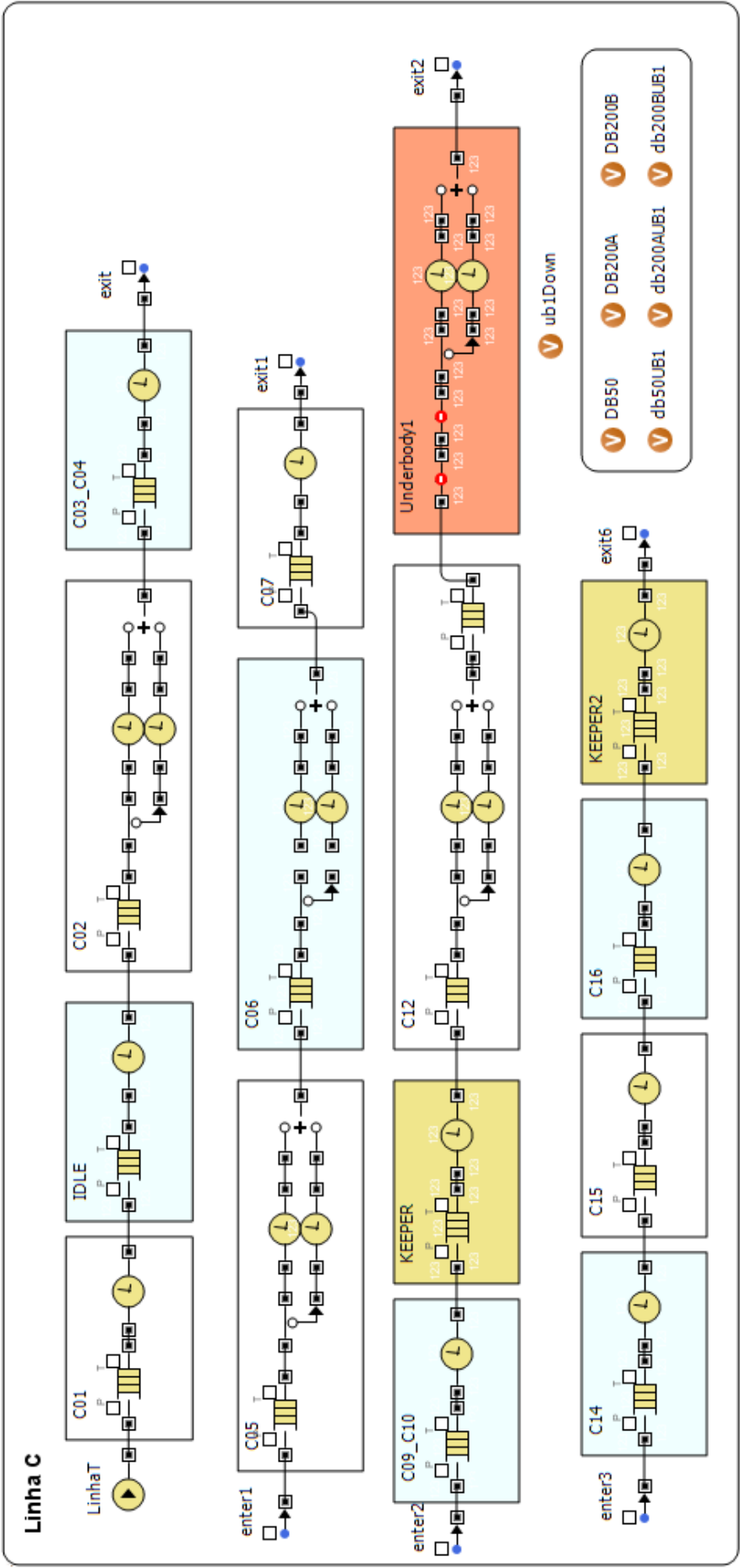


Figura 11. Representação da linha de montagem C no modelo de simulação.

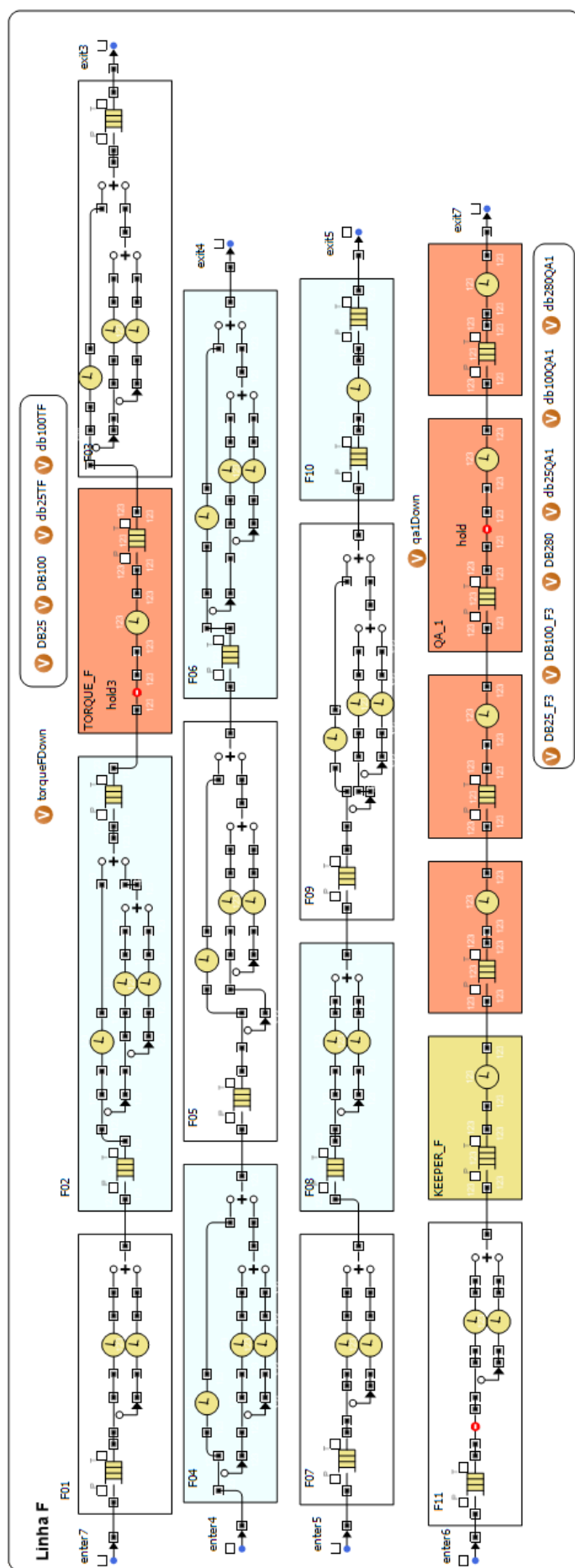


Figura 12. Representação da linha de montagem F no modelo de simulação.

No modelo de simulação, há uma parte dedicada somente ao monitoramento das variáveis de controle e parâmetros do sistema. A figura 13 mostra uma imagem desta parte específica do modelo.



Figura 13. Variáveis, parâmetros e controles do sistema.

4.3 DADOS DE ENTRADA

Os dados relativos às atividades e tempos das linhas de montagem foram obtidos através de dados reais fornecidos pela montadora. As informações de quantidade de torquímetros, modelos e quantidade de medições diárias nas estações foram coletadas com base nos *check-lists* de inspeção. A velocidade da linha varia conforme a demanda e foi calculada para o modelo de simulação através da média da produção diária de vários meses.

A unidade de tempo utilizada no modelo é o minuto, uma vez que os tempos das estações se encontram nessa unidade. O modelo executa a simulação em um período de dois anos, ou 394.200 minutos, considerando um dia de trabalho com nove horas. O fabricante dos torquímetros recomenda uma verificação a cada 100.000 ciclos para garantir a acurácia dos resultados e a durabilidade (Tohnichi, 2012). No modelo, após completar esta quantidade, os torquímetros são levados a manutenção. A duração total da simulação foi determinada a partir do tempo necessário para que o torquímetro com menor utilização pudesse completar 100.000 medições.

Existe aleatoriedade no sistema em relação ao lote de ferramentas enviadas a calibração e ao tempo despendido para realizar este serviço. Os dados reais relativos a estes parâmetros, foram necessários para ajustar as distribuições de probabilidade

que descrevem seus comportamentos no modelo. Foi ajustada uma distribuição de probabilidade empírica para o lote de ferramentas enviadas à calibração, elaborada a partir de histogramas com interpolação linear entre os pontos. Para descrever o tempo despendido para a calibração, ajustou-se uma distribuição de probabilidade triangular, inferida com base nos tempos obtidos em experiências anteriores.

5 ESTUDOS DE CASO

Neste capítulo são descritos os estudos de caso considerando as quatro estações de inspeção da montadora, em que modificações foram inseridas e posteriormente analisadas. Através dessas modificações, chamadas questões “what if?”, em cada caso, foram analisados os impactos sobre os níveis de estoque dos torquímetros.

Neste capítulo são descritos os estudos de caso realizados com o modelo de simulação. Três estudos foram desenvolvidos, o primeiro estudo trata da alteração dos níveis de estoque dos torquímetros e seus efeitos sobre a disponibilidade nas estações de inspeção. Já no segundo, analisou-se o impacto sobre os estoques quando os tamanhos de lotes de torquímetros enviados à calibração foram modificados. No terceiro, os tempos de duração do serviço de calibração foram alterados, com a finalidade de observar seus efeitos também sobre o estoque e a disponibilidade nas linhas durante o período de dois anos.

5.1 CASO 1: ESTOQUE DE TORQUÍMETROS

Martins e Laugeni (2005) destacam que “toda atividade que consome recursos e não agrega valor ao produto é considerado desperdício”. Desta maneira, pode-se constatar que estoques de ferramentas também consomem recursos financeiros, de espaço e de transporte interno, podendo representar desperdícios para a empresa e assim devem ser reduzidos. Um estoque desnecessário de torquímetros implica em um grande desperdício de dinheiro, além de ocupar bastante espaço devido ao seu tamanho e condições de armazenamento.

Por outro lado, deve-se considerar a capacidade da linha de cumprir o seu objetivo, que é verificar se os torques aplicados estão de acordo com as especificações. Para que isso ocorra, é necessário primeiramente que haja ferramentas disponíveis e que as mesmas estejam devidamente calibradas. Considerando uma necessidade de calibração a cada 100.000 ciclos, alguns torquímetros (com maior utilização) tendem a estar indisponíveis requerendo um maior nível de estoque. De todas as ferramentas do modelo, cinco delas tem bastante utilização realizando de 900 a 1980 ciclos/dia e o restante 180 a 630 ciclos/dia. Por

esse motivo, é necessário atentar-se para as diferentes necessidades de estoque de cada modelo, garantindo sempre a disponibilidade nas estações de inspeção.

5.1.1 Simulação

Foram realizadas as simulações, primeiramente com o estoque real e posteriormente com alterações nos níveis de estoque. Reduziu-se sucessivamente o estoque dos torquímetros em maior quantidade e aumentou-se os níveis daqueles que durante a simulação se tornavam indisponíveis, obstruindo as linhas. Buscou-se determinar os níveis de estoque mais favoráveis, a fim de evitar desperdícios e ao mesmo tempo garantir a disponibilidade. A tabela 6 mostra algumas alterações realizadas no estoque e os respectivos efeitos produzidos.

Tabela 6 – Redução dos níveis de estoque das ferramentas.

	Níveis de estoque						Interrupções
	DB 100	DB 50	DB 25	DB 280	DB 200	DB 420	
Exp1	*9	*5	*4	*1	*3	*1	Faltou DB280 no <i>Underbody 2</i> em 91,5 dias.
Exp2	8	4	3	2	3	1	Faltou DB200 no <i>Underbody 1</i> em 219,3 dias.
Exp3	7	3	2	2	4	1	Faltaram DB280 na QA 1 e DB200 no <i>Underbody 2</i> em 219,3 dias.
Exp4	6	2	1	3	5	1	Faltou DB280 no <i>Underbody 2</i> em 328,9 dias.
Exp5	5	1	1	4	5	1	Faltou DB50 no <i>Underbody 2</i> em 365,5 dias.
Exp6	4	2	1	4	5	1	Faltou DB100 no <i>Underbody 2</i> em 1,5 anos.
Exp7	5	2	1	4	5	1	Faltaram dois DB200 no <i>Underbody 2</i> em 1,8 anos.
Exp8	5	2	1	4	6	1	Faltou DB280 na QA1 em 383,7 dias.
Exp9	5	2	1	5	6	1	Faltou DB200 no <i>Underbody 2</i> em 219,3 dias.
Exp10	5	2	1	5	7	1	Não houve.

*Níveis reais de estoque.

5.1.2 Análise dos resultados

Após várias simulações, obteve-se um nível mínimo de estoque de torquímetros no experimento 10. Cada experimento foi repetido no mínimo duas vezes. Observou-se que os modelos mais sensíveis em relação a alteração de seus

níveis são o DB200 e o DB280. Isto ocorreu devido à alta taxa de utilização dos mesmos, os seus níveis são passíveis de ser aumentados. As quantidades reais de estoque destes dois modelos representam um grande risco de interrupção nas estações em que estão inseridos, pois devido à sua alta utilização, estes atingem o limite máximo de ciclos rapidamente e tendem a falhar antes dos demais.

Para os modelos DB 100, DB50 e DB25 uma redução de no mínimo 40% de seus estoques pode ser realizada, já que os níveis resultantes mostraram-se suficientes para suprir as estações durante o período simulado. Se os níveis de estoques obtidos pela simulação fossem implementados na montadora, seria possível economizar um valor que representa 54% do valor monetário de todo o estoque atual. Este recurso poderia ser utilizado para adquirir novos torquímetros de modelos DB280 e DB200. A figura 14 compara os níveis reais e adequados de estoque.

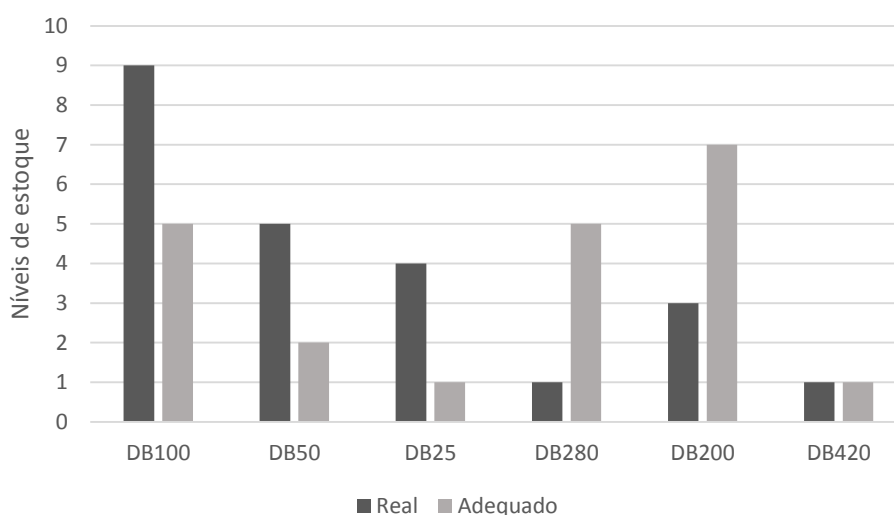


Figura 14. Comparação entre os níveis reais e adequados de estoque.

O planejamento da calibração a cada 100.000 medições, representa um ganho para a empresa em termos de custos. Pois no sistema real, os torquímetros são calibrados uma vez ao ano, independentemente de sua taxa de utilização. No cenário proposto, alguns torquímetros com menor utilização só serão calibrados após 1,5 anos. Os mais utilizados serão calibrados com mais frequência e isso tende a favorecer sua durabilidade, evitando novas aquisições que costumam ter maior custo em relação ao custo de calibração. Além disso, um melhor planejamento da calibração favorece a confiança nos resultados das medições que agrega segurança aos componentes montados.

Os níveis de estoque resultantes foram dimensionados com o objetivo de favorecer a disponibilidade e durabilidade das ferramentas seguindo as recomendações do fabricante quanto à calibração. Entretanto, deve-se lembrar que os níveis obtidos, devem ser considerados quando os lotes de ferramentas enviados para a calibração e o tempo despendido para este serviço possuem valores estocásticos. Por isso esses níveis se alterarão quando modificações nestes dois parâmetros, lote e tempo de calibração, forem inseridas.

5.2 CASO 2: LOTE DE FERRAMENTAS PARA CALIBRAÇÃO

O envio de ferramentas para a calibração ocorre no sistema real enviando um só torquímetro ou lotes deles, dependendo da necessidade momentânea de calibração ou manutenção. No sistema real durante um período de dez meses, a cada mês, tamanhos diferentes de lotes de ferramentas foram enviados à empresas contratadas para a calibração. Este processo foi descrito no modelo de forma estocástica, através de uma distribuição de probabilidade empírica elaborada a partir dos dados reais obtidos.

O cenário mais adequado é aquele em que os torquímetros são enviados sempre em lote (na maior quantidade possível) e nunca individualmente, sem comprometer o funcionamento das linhas. Além do custo de calibração, há também o custo de transporte das ferramentas, realizados por outras empresas externas. Quanto maior o lote enviado, menor será custo de transporte por ferramenta. Em função disso, buscou-se neste estudo de caso, maximizar o lote de ferramentas enviadas, analisando seus impactos sobre os níveis de estoque.

Pode-se pensar que o envio de um menor lote de ferramentas para a calibração possa diminuir os níveis de estoques existentes, uma vez que as ferramentas necessitariam aguardar menos umas as outras para serem calibradas. Entretanto, deve-se lembrar que os custos de transporte são mensais enquanto que os custos de aquisição de novas ferramentas ocorrem esporadicamente. Portanto, mesmo que os níveis de estoques aumentem devido a um maior lote enviado, este custo ainda será pequeno se comparado aos custos mensais de transporte de ferramentas.

5.2.1 Simulação

Esta simulação ocorreu substituindo a distribuição de probabilidade empírica, que descreve a aleatoriedade do lote nos outros estudos, por valores determinísticos. Buscou-se fixar os maiores valores de tamanho de lote (baseado nos que são praticados no sistema real) e verificar principalmente os efeitos produzidos sobre os níveis de estoque do DB200 e DB280, que são dentre os demais, os que possuem maior custo de aquisição. A simulação foi realizada com os tamanhos de lote entre 7 e 13 ferramentas, cada experimento foi repetido no mínimo duas vezes. A tabela 7 mostra os resultados obtidos em cada experimento.

Tabela 7 – Aumento dos tamanhos de lote e efeitos sobre os níveis de estoque.

	Quantidade mínima de estoque						Lote	Interrupções
	DB 100	DB 50	DB 25	DB 280	DB 200	DB 420		
Exp1	5	2	1	6	7	1		Não houve.
Exp2	5	2	1	6	6	1	13	Faltou DB200 no <i>Underbody2</i> em 7,3 meses.
Exp3	5	2	1	5	7	1		Faltou DB280 na QA1 em 7,3 meses.
Exp1	5	2	1	5	6	1		Faltou DB200 no <i>Underbody2</i> em 12,2 meses.
Exp2	5	2	1	4	7	1	12	Faltou DB280 no <i>Underbody2</i> em 6 meses.
Exp3	5	2	1	5	7	1		Não houve.
Exp1	5	2	1	5	6	1		Não houve.
Exp2	5	2	1	4	5	1	11	Faltou DB280 no <i>Underbody2</i> em 6 meses.
Exp3	5	2	1	5	5	1		Faltou DB200 no <i>Underbody2</i> em 10,9 meses.
Exp1	5	2	1	5	5	1		Não houve.
Exp2	5	2	1	4	5	1	9	Faltou DB280 no <i>Underbody2</i> em 6 meses.
Exp3	4	2	1	5	5	1		Faltou DB100 no <i>Underbody2</i> em 1,5 anos.
Exp1	4	2	1	4	4	1		Faltou DB200 no <i>Underbody2</i> em 7,3 meses.
Exp2	4	2	1	4	5	1	7	Faltou DB200 no <i>Underbody2</i> em 1,8 anos.
Exp3	4	2	1	4	5	1		Não houve.

5.2.2 Análise dos resultados

Através dos resultados mostrados na tabela 7 é possível observar que não há mudanças significativas de níveis de estoque entre os tamanhos de lote simulados. Portanto pode-se inferir que, se os custos de estoque não podem ser evitados desta forma, o cenário mais vantajoso é aquele em que o lote de ferramentas é maior. Visto que os custos com transporte estarão mais diluídos. Na tabela 8 e na figura 15, são mostradas diferenças entre os níveis de estoque real, com lote igual a 13, adequado (calibração a cada 100.000 medições) e com lote igual a 7.

Tabela 8 – Níveis de estoque e reduções obtidas.

Tipo	Níveis de estoque						Total	Percentual do estoque real
	DB 100	DB 50	DB 25	DB 280	DB 200	DB 420		
Real	9	5	4	1	3	1	23	-
Lote igual a 13	5	2	1	6	7	1	22	95,7%
Adequado	5	2	1	5	7	1	21	91,3%
Lote igual a 7	4	2	1	4	5	1	17	73,9%

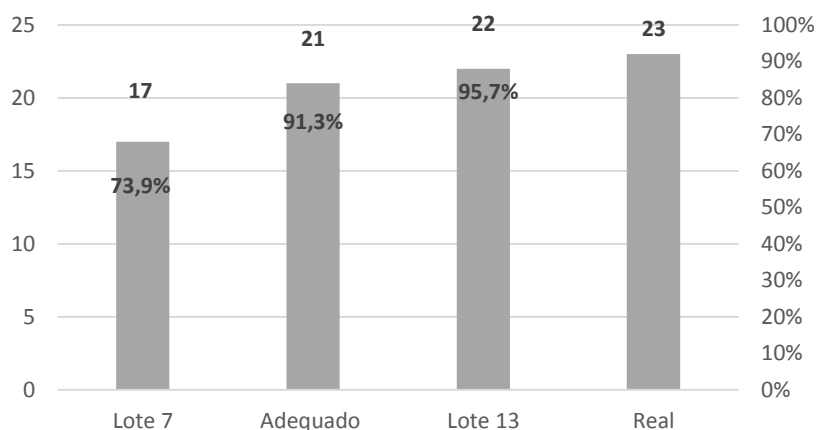


Figura 15. Percentual dos níveis de estoque em relação ao real.

Posto que se deseja melhorar a disponibilidade das ferramentas através do fator durabilidade, os níveis de estoques reais não devem ser empregados em nenhum caso, dadas as características das linhas e seguindo as recomendações do fabricante. Neste cenário as ferramentas com mais utilização tendem a falhar rapidamente, interrompendo as linhas de produção nas estações de inspeção,

gerando custos e transtornos. Além disso, a distribuição destes níveis se encontra inadequada (ferramentas com pouca utilização têm mais estoque) representando um desperdício.

No estoque adequado, as condições mínimas para operação das linhas e recomendações do fabricante são garantidas, apesar da pouca redução em números totais de ferramentas em relação ao níveis reais. Neste cenário, as ferramentas com maior utilização estão em maior quantidade e as menos utilizadas em menor quantidade. Os níveis obtidos quando o lote de ferramentas é igual a 13, são cerca de 4% maiores apenas em relação ao níveis adequados. Ou seja, os ganhos obtidos através da diluição do custo de transporte das ferramentas, compensam em muito o investimento de modelos adicionais de DB200 e DB280.

Em casos em que o objetivo seja a simples redução estoque, o cenário em que lote ferramentas enviado à calibração é igual a 7, é o mais favorável. Entretanto, os custos com o transporte aumentam nesta condição uma vez que os envios serão realizados com maior frequência. Em uma situação hipotética em que a calibração pudesse ser realizada dentro da montadora, este cenário ganharia importância entre os demais. Neste caso, outros lotes ainda menores poderiam ser considerados ou até mesmo não seriam enviados mais lotes, mas cada ferramenta individualmente.

5.3 CASO 3: PROCESSO DE CALIBRAÇÃO

Como mencionado anteriormente, o processo de calibração é externo à montadora, realizado por empresas prestadoras de serviço. Dados reais de tempo relativos a este serviço são difíceis de obter, dado que a quantidade de ferramentas para calibração varia, bem como as empresas contratadas. Em virtude disso, os dados de entrada deste parâmetro foram modelados por uma distribuição de probabilidade triangular com os valores prováveis de ocorrência. Os valores de ocorrência foram obtidos por entrevistas na montadora, baseando-se nas experiências anteriores.

A distribuição de probabilidade triangular é adequada para descrever um fenômeno em que são conhecidos os valores mínimo, máximo e mais provável de ocorrência (Borshchev, 2010). Pelas experiências anteriores de contratação do serviço, definiu-se que o tempo mínimo de duração do mesmo é de 20 dias e o máximo de 40 dias, com a maior probabilidade de ocorrência em um período de 30 dias.

Neste estudo, procurou-se analisar o quanto diferentes prazos de entrega de calibração podem afetar os níveis de estoque. No lugar da probabilidade triangular, utilizada nos estudos anteriores para descrever o tempo de serviço, foram substituídos valores determinísticos de tempo em um intervalo de 10 a 45 dias. Seus efeitos sobre a disponibilidade nas linhas foram analisados.

5.3.1 Simulação

Nesta simulação foram testados quatro diferentes prazos de calibração 10, 15, 40 e 45 dias. O objetivo é analisar o impacto sobre os níveis de estoque para diferentes prazos de serviço. Foi analisado o impacto de prazos menores e mais competitivos que porventura possam ser negociados com as empresas contratadas (10 e 15 dias), bem como os níveis de estoque capazes de suportar possíveis prazos maiores ou atrasos de entrega (40 e 45 dias). A tabela 9 mostra os resultados obtidos para cada prazo considerado nos experimentos.

Tabela 9 – Níveis de estoque para diferentes tempos de serviço de calibração.

	Quantidade mínima de estoque						Total	Tempo de serviço	Interrupções
	DB 100	DB 50	DB 25	DB 280	DB 200	DB 420			
Exp1	3	1	1	4	5	1	15	10 dias	Faltou DB50 no <i>Underbody 2</i> em 12,2 meses.
Exp2	3	2	1	4	5	1	16		Não houve.
Exp3	3	2	1	4	4	1	15		Faltou DB200 no <i>Underbody 2</i> em 7,3 meses.
Exp1	3	2	1	4	5	1	16	15 dias	Faltou DB100 no Torque F e no <i>Underbody 2</i> em 1,5 anos.
Exp2	4	2	1	3	5	1	16		Faltou DB280 na QA 1 em 1,8 anos.
Exp3	4	2	1	4	5	1	17		Não houve.
Exp1	5	2	1	5	7	1	21	40 dias	Faltaram DB280 na QA 1 e DB100 no <i>Underbody 2</i> em 1,5 anos.
Exp2	6	2	1	6	7	1	23		Não houve.
Exp3	6	2	1	6	6	1	22		Não houve.
Exp1	6	2	1	6	6	1	22	45 dias	Faltou DB200 no <i>Underbody 2</i> em 7,3 meses.
Exp2	6	2	1	6	7	1	23		Não houve.

5.3.2 Análise dos resultados

Através dos resultados mostrados na tabela 9 pôde-se observar que para os prazos mais competitivos de entrega, 10 e 15 dias, houve bastante redução dos níveis de estoque em relação a àqueles considerados adequados (21 ferramentas). A diferença entre os níveis obtidos para 10 e 15 dias é de apenas uma ferramenta, portanto a escolha entre qualquer destes dois prazos tem um desempenho similar, o que deixa o prazo de entrega mais confortável para a prestadora de serviço. Deve-se lembrar que a prestadora deverá atender a estes prazos em qualquer lote de ferramentas que possa ser enviado, que varia em um intervalo de 1 a 13 ferramentas.

Entre os maiores prazos, 40 e 45 dias, obteve-se pouca diferença, de apenas uma ferramenta, assim como ocorreu comparando-se os níveis para 10 e 15 dias de serviço. O objetivo deste caso foi determinar os níveis mínimos de estoque capazes de suportar grandes prazos de entrega, sem haver interrupções nas linhas. Vale lembrar que há probabilidade de ocorrência destes prazos na prática, visto que o prazo de 40 dias encontra-se incluso na distribuição de probabilidade de tempo de serviço dos estudos anteriores. Estes prazos podem ocorrer também dado o fato de que as empresas contratadas para o serviço estão localizadas em outras cidades e estados, distantes da montadora.

A tabela 10 e a figura 16 mostram a comparação entres os prazos de entrega analisados nesta seção com os níveis adequados de estoque obtido nos estudos anteriores em que o lote e o tempo de serviço de calibração são estocásticos.

Tabela 10 – Comparação dos níveis de estoque obtidos de diferentes tempos de serviço de calibração.

Nível de estoque	Quantidade mínima de estoque						Total	Redução sobre o anterior	Redução sobre o maior valor
	DB 100	DB 50	DB 25	DB 280	DB 200	DB 420			
45 dias de serviço	6	2	1	6	7	1	23	-	
Adequado	5	2	1	5	7	1	21	8,7%	8,7%
10 dias de serviço	3	2	1	4	5	1	16	23,8%	30,4%

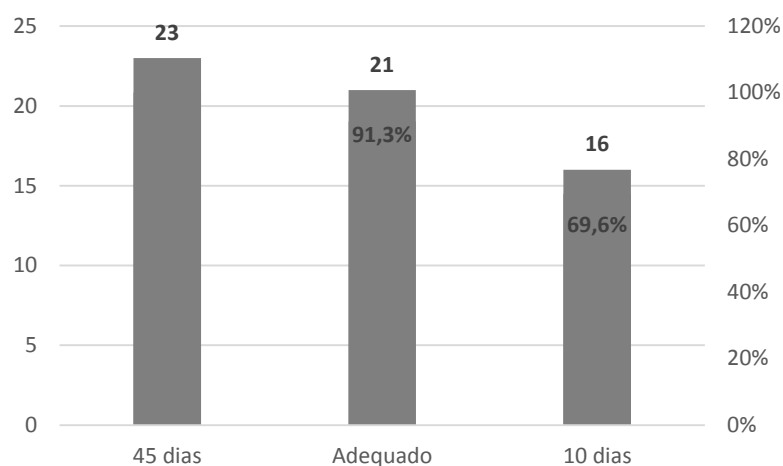


Figura 16. Percentual de estoques em relação ao obtido com calibração de 45 dias.

Na comparação apresentada na tabela 10 e na figura 15, é possível ver que os níveis de estoque considerados adequados, em que não há controle ou planejamento do lote e do prazo de calibração, são 8,7% menores em relação aos níveis capazes de suportar 45 dias de serviço. Isto mostra a importância de controlar prazos de entrega junto as prestadoras de serviço, uma vez que nem mesmo os níveis de estoque considerados adequados, são suficientes para suprir as linhas de produção nesta situação específica.

Em relação ao prazo de 10 dias, houve uma significativa redução dos níveis de estoque comparando-se tanto com o estoque adequado em que houve uma redução de 23,8%, quanto com o estoque que prevê grandes prazos de entrega (45 dias) com redução de 30,4%, ou 7 ferramentas. Demonstrando como prazos competitivos como estes podem sensivelmente afetar os estoques da montadora, evitando custos desnecessários de aquisição e de logística de estoque.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo apresenta as considerações finais e contribuições dadas do estudo de simulação realizado. São apresentadas também as limitações do estudo e sugestões para trabalhos futuros, além de confrontar as etapas efetivamente realizadas com as que foram propostas no início do trabalho.

Considerando o objetivo do trabalho “através da modelagem e simulação obter um melhor gerenciamento das ferramentas de inspeção... favorecendo sua disponibilidade... e durabilidade” foi possível constatar através do seu desenvolvimento que a simulação mostrou-se uma metodologia eficaz que permitiu prever comportamentos do sistema, antecipando acontecimentos que não seriam viáveis de serem observados na realidade. Seja pelo extenso tempo que se deveria monitorar, pela complexidade intrínseca do sistema ou simplesmente pela impossibilidade de prévia implementação seguida de observação dos efeitos.

Ademais, a hipótese de que o planejamento baseado na simulação auxilia a reduzir custos foi demonstrada, como no primeiro estudo de caso, em que se adequou os níveis de estoques das ferramentas para que a necessidade de calibração fosse suprida sem agregar estoques desnecessários e ao mesmo tempo garantindo a disponibilidade nas linhas de produção e a durabilidade das ferramentas. No segundo estudo de caso também foi demonstrada essa característica, pois através de um melhor planejamento do lote de ferramentas enviado a calibração pode-se reduzir custos mensais de transporte.

Além de reproduzir o comportamento do sistema real, outra característica importante da simulação que pôde ser constatada é a de vislumbrar novos procedimentos que podem ser adotados, aferindo antecipadamente o seu desempenho. No terceiro estudo de caso foi possível observar quais as vantagens em relação ao estoque de obter junto as empresas contratadas prazos mais competitivos de entrega. E também quais as consequências sobre o mesmo de possíveis atrasos de entrega ou outros acontecimentos externos que pudessem prolongar esse prazo.

Desta forma, a principal contribuição dada com a realização deste estudo foi auxiliar o processo de tomada de decisão, quanto a parâmetros importantes de funcionamento do sistema real, como níveis de estoque e planejamento da calibração. As limitações do estudo encontram-se em sua capacidade de reproduzir com exatidão as características do sistema real. Este fato decorreu da dificuldade de coleta de alguns dados que por serem difíceis de obter, tiveram de ser inferidos, pois necessitavam de maior tempo para observação.

Assim sendo, um aspecto do estudo que pode ser considerado em trabalhos futuros seria a obtenção de dados e observações adicionais a respeito da aleatoriedade do sistema, de forma a deixar o modelo ainda mais fidedigno ao comportamento real. Outro aspecto que pode ser considerado é a utilização de alguma técnica de validação, para validar o modelo elaborado, que devido ao curto período de tempo para realização do trabalho não pôde ser executada. Dada a impossibilidade de uso de técnicas específicas, procurou-se apenas verificar a lógica do modelo e sua concordância com o comportamento real do sistema.

A tabela 11 mostra uma comparação das etapas efetivamente realizadas em relação ao que foi planejado no início do trabalho.

Tabela 11. Execução das etapas planejadas no trabalho.

Etapas planejadas	Execução
Fundamentação teórica	Execução completa.
Definição do problema	Execução completa.
Criação do modelo	Pode ser melhorado com a inserção de mais dados reais.
Validação do modelo	Não executada.
Estudos de caso	Execução completa.

Referências Bibliográficas

- Abbas, K.A., Bell, M.G.H., 1994, "System Dynamics Applicability to Transportation Modeling", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol.28, Problema 5, Setembro 1994.
- Anton, C.I., Diecrichl, H., 2012, "Proposta de Melhoria da Logística em uma Empresa de Comércio de Ferragens do Vale do Taquari-RS", *Revista Destaques Acadêmicos*, Vol.4, N.1, 2012 – CGO/UNIVATES.
- Ballou, R.H., 2001, "Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos – Planejamento, Organização e Logística Empresarial", 4ª Ed., Editora Bookman, Porto Alegre – RS.
- Banks, J. 1998, "Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice", Editora John Wiley & Sons, Inc.
- Banks, J. *et al.* 2004, "Discrete-Event System Simulation", 4ª Ed., Editora Prentice Hall. Nova Jérsei – EUA.
- Borshchev, A. 2010, "The big book of simulation modeling", AnyLogic Company. XJ Technologies.
- Carlsons Produtos Industriais, 2006. Catálogo de ferramentas. São Paulo – SP.
- Carvalho, L.S., 2010. "Modelagem e Simulação – Poderosa Ferramenta para a Otimização de Operações Logísticas".
- Choi, S.D., Houshyar, A., 2002, "A Simulation Study of an Automotive Foundry Plant Manufacturing Engine Blocks", *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, p.1035 – 1040.
- Chwif, L., Medina, A.C., 2006, "Modelagem e Simulação de Eventos Discretos – Teoria e Aplicações", 3ª Edição.
- Colmanetti, M.S., 2001, "Modelagem de Sistemas de Manufatura Orientada pelo Custeio das Atividades e Processos". Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP.
- DIEESE – Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos, 2012, "A Indústria Automobilística no Brasil – Diagnóstico do Setor e Análise do Novo Regime Automotivo". Maio, 2012.
- Gedore. Catálogo: Torquímetros: uma especialidade Gedore, São Paulo – SP, 2005.
- Gunal, A., Sadakane, S., Willians, E.J., 1996, "Modeling of chain conveyors and their equipment interfaces". *Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference*, p.1353 – 1358.
- Frigg, R., Hartmann, S., 2006, "Models in Science". Stanford, 2006.
- Ingalss, R.G., 2002, "Introduction to Simulation". *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*. School of Industrial Engineering and Management Engineering. University of North Oklahoma – EUA.
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Cuso de metrologia de torque: Calibração e Normas Técnicas. Duque de Caxias; INMETRO/Dimci/Dimel, 2005, 42 p.
- Jayaraman, A., Gunal, A., 1997, "Applications of discrete-event simulation in the design of automotive powertrain manufacturing systems". *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, p.758 – 764.
- Jones, C., 1990, "Strategic supply network management". Fifth International Conference of the Operations Management Association. Inglaterra, Junho/1990.
- Kelton, W.D., Sadowski, R.P., Sadowski, D.A., 1998, "Simulation with Arena". Editora McGraw – Hill, Nova Iorque – EUA.
- Kendall, K., Mangin, C., Ortiz, E., 1998, "Dicrete-Event Simulation and Cost Analysis for Manufacturing Optimization of an Automotive LCM Component Composites" Part A 29A, p. 711 – 720.

- Law, M.A., Kelton, D.W., 2000, "Simulation Modeling and Analysis" 3ª Edição. Editora McGraw – Hill.
- Lima, E.P., Chwif, L., Barreto, M.R.P., 2007, "O uso da Simulação de Eventos Discretos como Ferramenta de Apoio na detecção de Gargalos nos Sistemas de Produção". XIV SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção, 2007.
- Manivannan, M.S., 1998, "Simulation of manufacturing and material handling systems". Handbook of Simulation, ed. By Jerry Banks. Editora John Wiley & Sons, Inc. Nova Iorque – EUA, p. 571 – 604.
- Martins, P.G., Laugen, F.P., 2005, Administração da Produção. 2ª Edição. Editora Saraiva. São Paulo – SP.
- Miranda, N.G.M., Corrêa, H.L., 1996, "Uma análise parcial da rede de suprimentos da indústria automobilística brasileira vista da administração". Revista de Administração, v. 31, n. 1, 1996.
- Novaes, A.G., 1989, "Sistemas Logísticos: Transporte, Armazenagem e Distribuição Física de Produtos". 1ª Edição. Editora Edgar Blucher Ltda. São Paulo – SP.
- Patel, V., Ma, J., Ashby, J., 2002, "Discrete-event simulation in automotive final process system". Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, p.1030 – 1034.
- Rausand, M; Hoyland, A.2004, "System reliability theory: models, statistical methods and applications". Editora John Wiley & Sons. Nova Iorque – EUA.
- Rohrer, M.W., 1998, "Simulation of manufacturing and material handling systems". Handbook of Simulation, ed. By Jerry Banks. Editora John Wiley & Sons, Inc. Nova Iorque – EUA, p. 519 – 545.
- Scavarda, L.F.R., Hamacher, S., 2001, "A Evolução da Cadeia de Suprimentos da Indústria Automobilística no Brasil". RAC, v.5, n.2, Maio/Agosto, 2001.
- Semini, M., Fauske, H., Strandhagen, J.O., 2006, "Applications of Discrete-Event Simulation to Support Manufacturing Logistics Decision-Making: a Survey". Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, IEEE 2006.
- Shannon, R.E., 1975, "Systems Simulation – The Art and Science". Editora Prentice – Hall.
- Sly, D.P., 1997, "Research to application success stories: manufacturing". Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, p. 1286 – 1292.
- Tiveroli G.A.D., Stadsisz P.C., Simão J.M. 2011, "Projeto de software para simulação de voo empregando a ferramenta Analytice II". Revista Brasileira de Computação Aplicada ISSN 2176-6649 v.3, n.2, pp. 46-57. Passo Fundo – RS. Setembro de 2011.
- Tohnichi *Torque Products Reference Guide*, 2012. Illinois – EUA.
- Ülgen, O., Gunal, A., 1998, "Simulation of manufacturing and material handling systems". Handbook of Simulation, ed. By Jerry Banks. Editora John Wiley & Sons, Inc. Nova Iorque – EUA, p. 547 – 570.
- Ülgen, O., Gunal, A., Grajo, E., Shore, J.,1994, "The role of simulation in design and operation of body and paint shops in vehicle assembly plants". Proceedings of the European Simulation Symposium. San Diego – California, p. 124 – 128.
- Williams,E.J., Sadakane, S.,1997, "Simulation of a paint shop power and free line".Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, p. 727 – 732.
- Zalla, J.G., 2006, "Análise dos Estoques em Processo de um Sistema de Produção de Cabinas de Caminhões com o uso da Simulação de Eventos Discretos". Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo – USP. São Carlos – SP, 2006.